

Docket No.: 57810-092

**PATENT**

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Application of	:	Customer Number: 20277
	:	
Masayuki SHONO, et al.	:	Confirmation Number:
	:	
Serial No.:	:	Group Art Unit:
	:	
Filed: March 24, 2004	:	Examiner:
	:	
For: LIGHT-EMITTING DEVICE AND ILLUMINATOR	:	

**CLAIM OF PRIORITY AND  
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Mail Stop CPD  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicant hereby claim the priority of:

**Japanese Patent Application No. JP 2003-088487, filed on March 27, 2003.**

cited in the Declaration of the present application. A certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY

  
Arthur J. Steiner

Registration No. 26,106

600 13<sup>th</sup> Street, N.W.  
Washington, DC 20005-3096  
(202) 756-8000 AJS:gav  
Facsimile: (202) 756-8087  
**Date: March 24, 2004**

57810-092  
Masayuki SHONO, et al.  
March 24, 2004

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE *McDermott, Will & Emery*

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2003年 3月27日

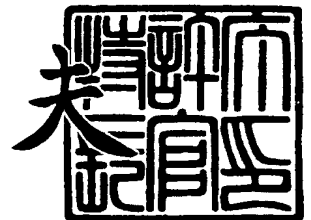
出願番号  
Application Number: 特願2003-088487  
[ST. 10/C]: [JP2003-088487]

出願人  
Applicant(s): 三洋電機株式会社

2004年 1月22日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2004-3001801

【書類名】 特許願

【整理番号】 NPA1030005

【提出日】 平成15年 3月27日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通 2 丁目 5 番 5 号  
三洋電機株式会社内

【氏名】 庄野 昌幸

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通 2 丁目 5 番 5 号  
三洋電機株式会社内

【氏名】 畑 雅幸

【特許出願人】

【識別番号】 000001889

【氏名又は名称】 三洋電機株式会社

【代表者】 桑野 幸徳

【代理人】

【識別番号】 100104433

【弁理士】

【氏名又は名称】 宮園 博一

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 073613

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0001887



【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 発光素子および照明装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 発光ダイオードと、

前記発光ダイオードの出射面と実質的に平行な面上に形成され、前記出射面と実質的に平行な面の面内方向に対して周期的に誘電率が変調された部分と、

前記発光ダイオードの出射面上に設けられ、前記発光ダイオードからの出射光を拡散する手段とを備えた発光素子。

【請求項 2】 前記周期的に誘電率が変調された部分は、誘電率の異なる材料を周期的に配置することにより構成されている、請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 3】 前記周期的に誘電率が変調された部分は、フォトリソグラフィからなる、請求項 1 または 2 に記載の発光素子。

【請求項 4】 前記出射光を拡散する手段は、導電性を有する、請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 5】 前記出射光を拡散する手段は、熱伝導率のよい材料からなる、請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 6】 前記出射光を拡散する手段は、レンズにより構成されている、請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 7】 前記出射面と前記出射光を拡散する手段との間に設けられた蛍光体をさらに備える、請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 8】 前記発光ダイオードの発光層は、窒化物系半導体からなる、請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 9】 請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載の発光素子を含む照明装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、発光素子および照明装置に関し、特に、発光ダイオードを含む発光素子およびその発光素子を用いた照明装置に関する。

## 【0002】

## 【従来の技術】

従来、発光ダイオード素子の出射面上にフォトニクス結晶を取り付けることにより、発光ダイオード素子からの出射光の取り出し効率を向上させることができる発光ダイオード素子が知られている（例えば、非特許文献1、2参照）。

## 【0003】

図7は、従来のフォトニクス結晶を出射面上に取り付けた発光ダイオード素子の構造を説明するための断面図である。図7を参照して、従来のフォトニクス結晶を出射面上に取り付けた発光ダイオード素子の構造について説明する。

## 【0004】

従来のフォトニクス結晶を出射面上に取り付けた発光ダイオード素子では、図7に示すように、n型GaAs基板101上に、n型AlGaAsからなるn型クラッド層102、p型GaAsからなる発光層103、および、p型AlGaAsからなるp型クラッド層104が順次積層されている。これにより、ダブルヘテロ構造を有する発光ダイオード素子が形成されている。また、p型クラッド層104の上面には、所定の幅と深さとを有するとともに、周期的に配列するストライプ形状（細長形状）の凹凸形状が形成されている。さらに、上記凹凸形状を有するp型クラッド層104の上面上に、Agからなる金属層105が形成されている。このようにして、従来の発光ダイオード素子が形成されている。

## 【0005】

従来の発光ダイオード素子では、上記したように、p型クラッド層104の上面を、所定の幅と深さとを有するとともに周期的に配列するストライプ形状の凹凸形状に形成するとともに、その凹凸形状の上面上に、金属層105を形成することにより、p型クラッド層104および金属層105の面内方向に対して周期的に誘電率が変調された部分が構成される。これにより、p型クラッド層104を、フォトニクス結晶としても機能させることができる。その結果、発光ダイオード素子からの出射光は、出射面に垂直な方向に出射されるとともに、出射光の取り出し効率を向上させることができる。

## 【0006】

## 【非特許文献 1】

“Highly directive light sources using two-dimensional photonic crystal slabs”, Applied Physics Letters, 2001 年 12 月, 第 79 巻, 第 26 号, pp. 4280-4282

## 【非特許文献 2】

“Strongly directional emission from AlGaAs/GaAs light-emitting diodes”, Applied Physics Letters, 1990 年 11 月, 第 57 巻, 第 22 号, pp. 2327-2329

## 【0007】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記した従来のフォトニクス結晶を出射面上に取り付けた発光ダイオード素子からの出射光は、出射面に垂直な方向に出射されるので、室内の照明などに適した拡散光を得ることが困難であるという不都合があった。このため、従来のフォトニクス結晶を出射面上に取り付けた発光ダイオード素子では、照明用として用いるのが困難であるという問題点があった。

## 【0008】

この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、

この発明の 1 つの目的は、光取り出し効率が高く、かつ、拡散光を得ることができる発光素子を提供することである。

## 【0009】

この発明のもう 1 つの目的は、光取り出し効率が高い照明装置を提供することである。

## 【0010】

## 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、この発明の第 1 の局面による発光素子は、発光ダイオードと、発光ダイオードの出射面と実質的に平行な面上に形成され、出射面と実質的に平行な面の面内方向に対して周期的に誘電率が変調された部分と、発

光ダイオードの出射面上に設けられ、発光ダイオードからの出射光を拡散する手段とを備えている。

#### 【0011】

この第1の局面による発光素子では、上記のように、発光ダイオード素子の出射面と実質的に平行な面上に、面内方向に対して周期的に誘電率が変調された部分を形成することによって、発光素子からの発光を出射面に対して垂直な光に平行化することができるので、発光ダイオード素子からの光取り出し効率を向上させることができる。また、発光ダイオード素子の出射面上に発光ダイオード素子からの出射光を拡散する手段を設けることによって、発光素子から出射してきた平行光を種々の方向に拡散することができるので、拡散光を出射することができる。これにより、光取り出し効率が高く、かつ、拡散光を出射することが可能な発光素子を得ることができる。

#### 【0012】

上記第1の局面による発光素子において、周期的に誘電率が変調された部分は、誘電率の異なる材料を周期的に配置することにより構成されていてもよく、周期的に誘電率が変調された部分は、フォトリソグラフィからなっているように構成すれば、周期的に誘電率が変調された部分を容易に得ることができる。

#### 【0013】

上記第1の局面による発光素子において、好ましくは、出射光を拡散する手段は、導電性を有する。このように構成すれば、発光ダイオード素子と出射光を拡散する手段とを密着して形成した場合に、発光ダイオード素子と出射光を拡散する手段との電気的な接続を行うことができる。これにより、出射光を拡散する手段に発光ダイオード素子への電流導入部を形成することができるので、発光ダイオード素子に直接配線する必要がない。その結果、発光素子の組み立てが容易になるので、発光素子の信頼性を向上させることができる。また、出射面上に配線を行う必要がないので、配線が出射光を遮ることがない。その結果、発光素子からの出射光強度を向上させることができる。

#### 【0014】



上記第1の局面による発光素子において、好ましくは、出射光を拡散する手段は、熱伝導率のよい材料からなる。このように構成すれば、出射光を拡散する手段を介して発光ダイオード素子からの発熱を、容易に放熱することができる。その結果、より大きな電流で発光素子を動作させることができるので、出射光強度を向上させることができる。

#### 【0015】

上記第1の局面による発光素子において、好ましくは、出射光を拡散する手段は、レンズにより構成されている。このように構成すれば、発光ダイオード素子から出射してきた平行光を、容易に、拡散光に変換することができる。

#### 【0016】

上記第1の局面による発光素子において、好ましくは、出射面と出射光を拡散する手段との間に設けられた蛍光体をさらに備える。このように構成すれば、蛍光体によって出射光が散乱されるため、さらに容易に、拡散光を得ることができる。また、発光ダイオード素子から出射してきた光の波長を異なる波長に変換することができるので、種々の蛍光体を組み合わせれば、照明用途に適した白色の発光を得ることができる。

#### 【0017】

上記第1の局面による発光素子において、好ましくは、発光ダイオードの発光層は窒化物系半導体からなる。このように構成すれば、発光ダイオード素子の発光波長が青色～紫外の範囲の短波長で高エネルギーの発光を容易に得ることができるので、上記蛍光体を用いた場合に、効率よく他の波長に変換することができる。これにより、出射光強度を向上させることができる。

#### 【0018】

この発明の第2の局面による照明装置は、上記第1の局面による発光素子を含む。すなわち、この照明装置は、発光ダイオードと、発光ダイオードの出射面と実質的に平行な面上に形成され、出射面と実質的に平行な面の面内方向に対して周期的に誘電率が変調された部分と、発光ダイオードの出射面上に設けられ、発光ダイオードからの出射光を拡散する手段とを備えた発光素子を含む。

#### 【0019】

この第2の局面による照明装置では、上記のように、発光ダイオード素子の出射面と実質的に平行な面上に、面内方向に対して周期的に誘電率が変調された部分を形成することによって、発光ダイオード素子からの発光を出射面に対して垂直な光に平行化することができるので、発光ダイオード素子からの光取り出し効率を向上させることができる。また、発光ダイオード素子の出射面上に発光ダイオード素子からの出射光を拡散する手段を設けることによって、発光ダイオード素子から出射してきた平行光を種々の方向に拡散することができるので、拡散光を出射することができる。これにより、光取り出し効率が高く、かつ、拡散光を出射することが可能な発光素子からなる照明装置を得ることができる。

### 【0020】

#### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

### 【0021】

#### (第1実施形態)

図1は、本発明の第1実施形態による発光ダイオード素子の構造を説明するための断面図である。また、図2は、本発明の第1実施形態によるp型コンタクト層の平面構造を説明するための上面図である。まず、図1および図2を参照して、本発明の第1実施形態による発光ダイオード素子の構造について説明する。

### 【0022】

第1実施形態による発光ダイオード素子では、酸素やSiがドーパされた約2mm角で約200～400 $\mu$ mの厚さを有するn型GaN基板1の(0001)Ga面上に、Siをドーパした約5 $\mu$ mの膜厚を有する単結晶のn型GaN層4、および、Siをドーパした約0.15 $\mu$ mの膜厚を有する単結晶のn型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nからなるn型クラッド層6がこの順に形成されている。また、n型クラッド層6上には、約5nmの膜厚を有する単結晶のアンドープGa<sub>0.9</sub>In<sub>0.1</sub>Nからなる6層の障壁層と約5nmの膜厚を有する単結晶のアンドープGa<sub>0.9</sub>In<sub>0.1</sub>Nからなる5層の井戸層とが交互に積層された多重量子井戸(MQW: Multiple Quantum Well)構造を有する活性層7、約10nmの膜厚を有する単結晶のアンドープGaNからなる保護層8、および、Mgがドーパされ

た約  $0.15\ \mu\text{m}$  の膜厚を有する単結晶の p 型  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  からなる p 型クラッド層 9 がこの順に形成されている。

#### 【0023】

p 型クラッド層 9 の上面上には、約  $30\ \text{nm}$  の膜厚を有する単結晶の p 型  $\text{Ga}_{0.95}\text{In}_{0.05}\text{N}$  からなる p 型コンタクト層 11 が形成されている。p 型コンタクト層 11 には、図 2 に示すように、約  $250\ \text{nm}$  の直径を有し、p 型クラッド層 9 中の発光波長  $\lambda$  の約  $4/3^{1/2}$  倍にほぼ等しい約  $380\ \text{nm}$  の間隔 (D) で 6 回対称に配列している円形の貫通孔 11a が形成されている。なお、発光層 (活性層 7) からの主発光波長  $\lambda$  を約  $380\ \text{nm}$ 、窒化物系半導体の屈折率を 2.3 として、間隔 (D) の値を設計した。なお、間隔 (D) は、p 型クラッド層 9 中の発光波長  $\lambda$  の約  $2/3^{1/2}$  倍に設計するのが好ましいが、その場合には、微細な加工が必要になる。このため、第 1 実施形態では、加工がより容易になるように、間隔 (D) が、p 型クラッド層 9 中の発光波長のほぼ  $4/3^{1/2}$  倍に相当するように設計した。

#### 【0024】

また、p 型コンタクト層 11 の貫通孔 11a の内部に充填するように p 型コンタクト層 11 の上面上には、p 側電極 12 が形成されている。この p 側電極 12 は、下層から上層に向かって約  $2\ \text{nm}$  の膜厚を有する Ni 層、Pd 層および Pt 層などからなるオーミック電極層、約  $200\ \text{nm}$  の膜厚を有する ITO 膜などからなる酸化物透明電極層、約  $1\ \mu\text{m}$  の膜厚を有する Al 層、Ag 層および Rh 層などからなる金属反射層、Pt 層および Ti 層などからなるバリア電極、および、Au 層および Au-Sn 層などからなるパッド電極から構成されている。

#### 【0025】

また、n 型 GaN 基板 1 の裏面上の周辺約  $50\ \mu\text{m}$  の領域に、n 側電極 16 が形成されている。この n 側電極 16 は、n 型 GaN 基板 1 の裏面に近い側から順に、Al 層からなるオーミック電極、Pt 層および Ti 層などからなるバリア電極、および、Au 層および Au-Sn 層などからなるパッド電極から構成されている。さらに、n 型 GaN 基板 1 の裏面上には、n 側電極 16 を介して、n 型 SiC、n 型 AlN、および、p 型ダイヤモンドなどからなる導電性を有する平凹

レンズ 50 が、平面側が n 型 GaN 基板 1 に向かうように融着されている。ここで、平凹レンズ 50 は、本発明の「発光ダイオードからの出射光を拡散する手段」の一例である。本発明の第 1 実施形態による発光ダイオード素子は、上記した構造を有する。

#### 【0026】

なお、本発明の第 1 実施形態による発光ダイオード素子を用いて照明装置を形成する場合には、上記発光ダイオード素子の p 側電極 12 の上面をダイヤモンド、AlN、および、SiC などからなるサブマウントに融着する。この場合、n 側電極 16 が形成されている n 型 GaN 基板 1 の裏面が出射面となり、図 1 の矢印で示す方向に光が出射される。

#### 【0027】

次に、図 1 を参照して、上記のような構造を有する第 1 実施形態の発光ダイオード素子の形成プロセスについて説明する。まず、酸素や Si がドーピングされた約 2 mm 角で約 200 ~ 400  $\mu$ m の厚みを有する n 型 GaN 基板 1 を、約 1000 °C ~ 約 1200 °C に保持した状態で、H<sub>2</sub> を約 50 % 含有する H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 混合ガスからなるキャリアガスと、NH<sub>3</sub> および TMGa からなる原料ガスと、SiH<sub>4</sub> からなるドーパントガスとを用いることにより、n 型 GaN 基板 1 の (0001) Ga 面上に、MOVPE 法 (Metal Organic Vapor Phase Epitaxy: 有機金属気相成長法) を用いて、Si をドーピングした約 5  $\mu$ m の膜厚を有する単結晶の n 型 GaN 層 4 を約 3  $\mu$ m/h の成長速度で形成する。

#### 【0028】

次に、n 型 GaN 基板 1 の温度を約 1000 °C ~ 約 1200 °C、好ましくは約 1150 °C に保持した状態で、H<sub>2</sub> を約 1 % ~ 約 3 % 含有する H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 混合ガスからなるキャリアガスと、NH<sub>3</sub>、トリメチルガリウム (TMGa)、および、トリメチルアルミニウム (TMAI) からなる原料ガスと、SiH<sub>4</sub> からなるドーパントガスとを用いることにより、n 型 GaN 層 4 上に、Si をドーピングした約 0.15  $\mu$ m の膜厚を有する単結晶の n 型 Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N からなる n 型クラッド層 6 を約 3  $\mu$ m/h の成長速度で形成する。

## 【0029】

次に、 $\text{GaN}$ 基板1の温度を約 $700^{\circ}\text{C}$ ～約 $1000^{\circ}\text{C}$ 、好ましくは約 $850^{\circ}\text{C}$ に保持した状態で、 $\text{H}_2$ を約1%～約5%含有する $\text{H}_2/\text{N}_2$ 混合ガスからなるキャリアガスと、 $\text{NH}_3$ 、トリエチルガリウム ( $\text{TEGa}$ )、トリメチルインジウム ( $\text{TMI n}$ ) からなる原料ガスとを用いることにより、 $\text{n}$ 型クラッド層6上に、約5 nmの膜厚を有する単結晶のアンドープ $\text{GaN}$ からなる6層の障壁層と、約5 nmの膜厚を有する単結晶のアンドープ $\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}$ からなる5層の井戸層とが交互に積層されたMQW構造を有する活性層7を約 $0.4\text{ nm/s}$ の成長速度で形成する。さらに連続して、約10 nmの膜厚を有する単結晶のアンドープ $\text{GaN}$ からなる保護層8を約 $0.4\text{ nm/s}$ の成長速度で形成する。

## 【0030】

次に、 $\text{GaN}$ 基板1の温度を約 $1000^{\circ}\text{C}$ ～約 $1200^{\circ}\text{C}$ 、好ましくは約 $1150^{\circ}\text{C}$ に保持した状態で、 $\text{H}_2$ を約1%～約3%含有する $\text{H}_2/\text{N}_2$ 混合ガスからなるキャリアガスと、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{TMGa}$ 、および、 $\text{TMA l}$ からなる原料ガスと、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム ( $\text{Cp}_2\text{Mg}$ ) からなるドーパントガスとを用いることにより、保護層8上に、 $\text{Mg}$ がドーピングされた約 $0.15\text{ }\mu\text{m}$ の膜厚を有する単結晶の $\text{p}$ 型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ からなる $\text{p}$ 型クラッド層9を約 $3\text{ }\mu\text{m/h}$ の成長速度で形成する。

## 【0031】

次に、電子線描画などによるリソグラフィ技術とエッチング技術とを用いて、約 $250\text{ nm}$ の直径の円柱状を有するとともに、 $\text{p}$ 型クラッド層9中の発光波長 $\lambda$ の約 $4/3^{1/2}$ 倍にほぼ等しい約 $380\text{ nm}$ の間隔で6回対称に配列している $\text{SiN}$ 層 (図示せず) を形成する。すなわち、図2に示した貫通孔11aが形成される位置に、円柱状の $\text{SiN}$ 層を形成する。この $\text{SiN}$ 層をマスクとして、MOVPE法を用いて、 $\text{p}$ 型クラッド層9上に約 $30\text{ nm}$ の膜厚を有する単結晶の $\text{p}$ 型 $\text{Ga}_{0.95}\text{In}_{0.05}\text{N}$ からなる $\text{p}$ 型コンタクト層11を成長させる。このとき、 $\text{GaN}$ 基板1の温度を約 $700^{\circ}\text{C}$ ～約 $1000^{\circ}\text{C}$ 、好ましくは約 $850^{\circ}\text{C}$ に保持した状態で、 $\text{H}_2$ を約1%～約5%含有する $\text{H}_2/\text{N}_2$ 混合ガスからなるキャリアガスと、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{TEGa}$ 、 $\text{TMI n}$ と、 $\text{Cp}_2\text{Mg}$ からなるドーパントガスと

を用いることにより、約  $3\ \mu\text{m}/\text{h}$  の成長速度で p 型コンタクト層 11 を形成する。

#### 【0032】

ここで、p 型クラッド層 9 および p 型コンタクト層 11 をキャリアガスの水素濃度が低い条件 ( $\text{H}_2$ : 約 1% ~ 約 5%) で形成することにより、 $\text{N}_2$  雰囲気中で熱処理することなく、Mg ドープアントが活性化される。これにより、p 型クラッド層 9 および p 型コンタクト層 11 を高キャリア濃度の p 型半導体層とすることができる。その後、p 型クラッド層 9 上の SiN 層 (図示せず) を除去することにより、図 2 に示すような貫通孔 11a を有する p 型コンタクト層 11 が形成される。

#### 【0033】

この後、真空蒸着法などを用いて、p 型コンタクト層 11 の貫通孔の内部に充填するように p 型コンタクト層 11 の上面上に、約 2 nm の膜厚を有する Ni 層、Pd 層および Pt 層などからなるオーミック電極層、約 200 nm の膜厚を有する ITO 膜などからなる酸化物透明電極層、約  $1\ \mu\text{m}$  の膜厚を有する Al 層、Ag 層および Rh 層などからなる金属反射層、Pt 層および Ti 層などからなるバリア電極、および、Au 層および Au-Sn 層などからなるパッド電極を順次形成することによって、p 側電極 12 を形成する。また、n 型 GaN 基板 1 の裏面上の周辺約  $50\ \mu\text{m}$  の領域に、真空蒸着法などを用いて、Al 層からなるオーミック電極、Pt 層および Ti 層などからなるバリア電極、および、Au 層および Au-Sn 層などからなるパッド電極を順次形成することによって、n 側電極 16 を形成する。

#### 【0034】

最後に、n 型 GaN 基板 1 の裏面上に、n 側電極 16 を介して、n 型 SiC、n 型 AlN、および、p 型ダイヤモンドなどからなる平凹レンズ 50 を、平面側が n 型 GaN 基板 1 に向かうように融着する。このようにして、本発明の第 1 実施形態による発光ダイオード素子が形成される。

#### 【0035】

第 1 実施形態では、上記のように、p 型コンタクト層 11 の貫通孔 11a の間

隔D（図2参照）は、p型クラッド層9中の発光波長 $\lambda$ の約 $4/3^{1/2}$ 倍となっているとともに、上記貫通孔11aには、p側電極12を構成するオーミック電極層および酸化物透明電極層が充填されている。これにより、p型コンタクト層11を、面内方向に対して周期的に誘電率が変調された2次元フォトンクス結晶として機能させることができる。上記構造を有するp型コンタクト層11を、発光ダイオード素子の出射面であるGaN基板1の裏面と平行な面上に形成することにより、発光ダイオード素子からの発光は出射面に対して垂直な光に平行化されるとともに、光取り出し効率を高くすることができる。また、上記出射面上に平凹レンズ50を設けることによって、上記出射面に対して垂直な方向に平行化された出射光を、容易に、種々の方向に拡散することができる。その結果、光取り出し効率が高く、かつ、拡散光を出射することができる発光ダイオード素子を得ることができる。

#### 【0036】

また、上記第1実施形態では、平凹レンズ50を、n型SiC、n型AlN、および、p型ダイヤモンドなどの熱伝導率のよい材料から構成することによって、発光ダイオード素子からの発熱を、容易に放熱することができる。その結果、より大きな電流で発光素子を動作させることができるので、出射光強度を向上させることができる。また、平凹レンズ50に放熱フィンなどの放熱部を取り付けることによって、さらに、容易に放熱することができる。

#### 【0037】

また、平凹レンズ50を、n型SiCなどの導電性を有する材料により形成するとともに、発光ダイオード素子と平凹レンズ50とを密着して形成することにより、発光ダイオード素子と平凹レンズ50との電氣的な接続を行うことができる。これにより、平凹レンズ50に発光ダイオード素子の負電極を形成することができる。このため、発光ダイオード素子に直接配線する必要がないので、発光ダイオード素子の組み立てが容易になり、その結果、発光ダイオード素子の信頼性を向上させることができる。また、出射面上に配線を行う必要がないので、配線が出射光を遮ることがない。その結果、発光ダイオード素子からの出射光強度を向上させることができる。

## 【0038】

また、p側電極12を構成するオーミック電極層の膜厚を薄く形成すれば、光の吸収を小さくすることができるとともに、p側電極12を構成する酸化物透明電極層により、p側電極12を構成するオーミック電極層と金属反射層とが反応することを抑制することができる。また、p側電極12およびn側電極16を構成するバリア電極によって、p側電極12を構成する金属反射層とパッド電極との反応、および、n側電極16を構成するオーミック電極層とパッド電極との反応を抑制することができる。

## 【0039】

## (第2実施形態)

図3は、本発明の第2実施形態による発光ダイオード素子の構造を説明するための断面図である。また、図4は、本発明の第2実施形態による金属層の平面構造を説明するための上面図である。まず、図3および図4を参照して、本発明の第2実施形態による発光ダイオード素子の構造について説明する。

## 【0040】

第2実施形態による発光ダイオード素子では、Siをドープした単結晶のn型GaN層24の上面上に、Siをドープした約40nmの膜厚を有する単結晶のn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層とSiをドープした約40nmの膜厚を有する単結晶のn型GaN層とが交互に10層ずつ積層されたn型多層反射層25が形成されている。n型多層反射層25上には、Siをドープした約0.15μmの膜厚を有する単結晶のn型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層からなるn型クラッド層26が形成されている。n型クラッド層26上には、約5nmの膜厚を有する単結晶のアンドープGa<sub>0.8</sub>In<sub>0.2</sub>N井戸層からなるSQW (Single Quantum Well) 構造を有するSQW活性層27が形成されている。SQW活性層27上には、約10nmの膜厚を有する単結晶のアンドープGaNからなる保護層28、および、Mgをドープした約0.15μmの膜厚を有する単結晶のp型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nからなるp型クラッド層29が、この順に形成されている。p型クラッド層29上には、Mgをドープした約40nmの膜厚を有する単結晶のn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層とMgをドープした約40nmの膜厚を有する単結晶のn型G



a N層とが交互に10層ずつ積層したp型多層反射層30が形成されている。p型多層反射層30上には、Mgがドーピングされた約30nmの膜厚を有する単結晶のp型Ga<sub>0.95</sub>In<sub>0.05</sub>Nからなるp型コンタクト層31が形成されている。

#### 【0041】

また、p型コンタクト層31の上面上には、p側電極32が形成されている。このp側電極32は、約2nmの膜厚を有するNi層、Pd層およびPt層などからなるオーミック電極層、約200nmの膜厚を有するITO膜などからなる酸化物透明電極層、約1μmの膜厚を有するAl層、Ag層およびRh層などからなる金属反射層、Pt層およびTi層などからなるバリア電極、および、Au層およびAu-Sn層などからなるパッド電極から構成されている。

#### 【0042】

また、p側電極32の上面上には、約200μm～約1mmの厚みを有する支持基板33が形成されている。この支持基板33は、p型ダイヤモンド基板、n型SiC基板、および、多結晶AlN基板などからなるとともに、表面および裏面に、支持基板33側からAl層、Pt層、Au層の順に積層されている、Al/Pt/Au層からなる電極（図示せず）が形成されている。そして、この支持基板33は、上記電極を介して、p側電極32に貼り合わされている。

#### 【0043】

また、n型GaN層24の裏面上には、約50nmの膜厚を有するAl層からなる金属層34が形成されている。金属層34には、図4に示すように、約120nmの直径を有し、p型クラッド層29中の発光波長λにはほぼ等しい約190nmの間隔(D)で4回対称に配列している円形の貫通孔34aが形成されている。なお、発光層(SQW活性層27)からの主発光波長λを約440nm、窒化物系半導体の屈折率を2.3として、間隔(D)の値を設計した。

#### 【0044】

金属層34の貫通孔34aの内部に充填するように、金属層34の裏面上には、ITOなどの酸化物透明導電膜からなるn側電極35が形成されている。さらに、n側電極35の裏面上の周辺約50μmの領域に、Au層およびAu-Sn層などからなるパッド電極36が形成されている。さらに、パッド電極36を介

して、n側電極35の裏面上には、n型SiC、n型AlN、および、p型ダイヤモンドなどからなる平凹レンズ50が、その平面側がn側電極35に向かうように融着されている。ここで、平凹レンズ50は、本発明の「発光ダイオードからの出射光を拡散する手段」の一例である。本発明の第2実施形態による発光ダイオード素子は上記した構造を有する。なお、上記第2実施形態による発光ダイオード素子においては、n側電極35の裏面が出射面となり、図3の矢印で示す方向に光が出射される。

#### 【0045】

図5は、図3に示した第2実施形態による発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。図3～図5を参照して、次に、第2実施形態による発光ダイオード素子の製造プロセスについて説明する。

#### 【0046】

まず、図5に示すように、GaP、GaAsおよびSiなどの(111)面（またはGa面）を表面に有する半導体基板21の上面上に、ストライプ状の開口部や六角形および円形の開口部が点在するSiO<sub>2</sub>やSiN<sub>x</sub>などからなる選択成長マスク22を形成する。次に、半導体基板21の温度を約400℃～約700℃に保持した状態で、NH<sub>3</sub>、TMGa、および、TMAIからなる原料ガスと、SiH<sub>4</sub>からなるドーパントガスとを用いることにより、マスク22から露出した半導体基板21上に、MOVPE法を用いて、Siをドーピングした約10nm～約50nmの膜厚を有する非単結晶のn型GaN、AlGaN、および、AlNなどからなるn型低温バッファ層23を形成する。

#### 【0047】

次に、半導体基板21を約1000℃～約1200℃、好ましくは約1150℃に保持した状態で、H<sub>2</sub>を約50%含有するH<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>混合ガスからなるキャリアガスと、NH<sub>3</sub>およびTMGaからなる原料ガスと、SiH<sub>4</sub>からなるドーパントガスとを用いることにより、n型低温バッファ層23上に、n型GaN層24を約3μm/hの成長速度で形成する。

#### 【0048】

次に、半導体基板21の温度を約1000℃～約1200℃、好ましくは約1

150℃に保持した状態で、 $H_2$ を約1%～約3%含有する $H_2/N_2$ 混合ガスからなるキャリアガスと、 $NH_3$ 、TMGa、および、TMAIからなる原料ガスと、 $SiH_4$ からなるドーパントガスとを用いることにより、n型Ga<sub>0.2</sub>Al<sub>0.8</sub>N層とSiをドーピングした約40nmの膜厚を有する単結晶のn型Ga<sub>0.8</sub>N層とが交互に10層ずつ積層したn型多層反射層25を約3μm/hの成長速度で形成する。

#### 【0049】

次に、半導体基板21の温度を約1000℃～約1200℃、好ましくは約150℃に保持した状態で、 $H_2$ を約1%～約3%含有する $H_2/N_2$ 混合ガスからなるキャリアガスと、 $NH_3$ 、TMGa、および、TMAIからなる原料ガスと、 $SiH_4$ からなるドーパントガスとを用いることにより、n型多層反射層25上に、Siをドーピングした約0.15μmの膜厚を有する単結晶のn型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層からなるn型クラッド層26を約3μm/hの成長速度で形成する。

#### 【0050】

次に、半導体基板21の温度を約700℃～約1000℃、好ましくは約850℃に保持した状態で、 $H_2$ を約1%～約5%含有する $H_2/N_2$ 混合ガスからなるキャリアガスと、 $NH_3$ 、TEGa、および、TMInからなる原料ガスとを用いることにより、n型クラッド層26上に、約5nmの膜厚を有する単結晶のアンダー層Ga<sub>0.8</sub>In<sub>0.2</sub>N井戸層からなるSQW活性層27を約0.4nm/sの成長速度で形成する。さらに連続して、約10nmの膜厚を有する単結晶のアンダー層Ga<sub>0.8</sub>Nからなる保護層28を約0.4nm/sの成長速度で形成する。

#### 【0051】

次に、半導体基板21の温度を約1000℃～約1200℃、好ましくは約150℃に保持した状態で、 $H_2$ を約1%～約3%含有する $H_2/N_2$ 混合ガスからなるキャリアガスと、 $NH_3$ 、TMGa、および、TMAIからなる原料ガスと、 $Cp_2Mg$ からなるドーパントガスとを用いることにより、保護層28上に

、Mgをドーブした約 $0.15\mu\text{m}$ の膜厚を有する単結晶のp型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nからなるp型クラッド層29を約 $3\mu\text{m/h}$ の成長速度で形成する。

#### 【0052】

次に、半導体基板21の温度を約 $1000^{\circ}\text{C}$ ～約 $1200^{\circ}\text{C}$ 、好ましくは約 $1150^{\circ}\text{C}$ に保持した状態で、H<sub>2</sub>を約1%～約3%含有するH<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>混合ガスからなるキャリアガスと、NH<sub>3</sub>、TMGa、および、TMAIからなる原料ガスと、Cp<sub>2</sub>Mgからなるドーパントガスとを用いることにより、p型クラッド層29上に、Mgをドーブした約 $40\text{nm}$ の膜厚を有する単結晶のn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層とMgをドーブした約 $40\text{nm}$ の膜厚を有する単結晶のn型GaN層とが交互に10層ずつ積層したp型多層反射層30を約 $3\mu\text{m/h}$ の成長速度で形成する。

#### 【0053】

ここで、p型クラッド層29およびp型多層反射層30を、キャリアガスの水素濃度が低い条件（H<sub>2</sub>:約1%～約3%）で形成することにより、N<sub>2</sub>雰囲気中で熱処理することなく、Mgドーパントが活性化される。これにより、p型クラッド層29およびp型多層反射層30を高キャリア濃度のp型半導体層とすることができる。

#### 【0054】

次に、半導体基板21の温度を約 $700^{\circ}\text{C}$ ～約 $1000^{\circ}\text{C}$ 、好ましくは約 $850^{\circ}\text{C}$ に保持した状態で、H<sub>2</sub>を約1%～約5%含有するH<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>混合ガスからなるキャリアガスと、NH<sub>3</sub>、TEGa、TMInとを用いることにより、p型多層反射層30上に、約 $30\text{nm}$ の膜厚を有する単結晶のアンドープGa<sub>0.95</sub>In<sub>0.05</sub>Nからなるコンタクト層31を約 $3\mu\text{m/h}$ の成長速度で形成する。

#### 【0055】

次に、半導体基板21の温度を約 $400^{\circ}\text{C}$ ～約 $900^{\circ}\text{C}$ 、好ましくは約 $800^{\circ}\text{C}$ に保持した状態で、N<sub>2</sub>雰囲気中でアニールすることにより、コンタクト層31から水素を脱離させる。これにより、コンタクト層31中の水素濃度を約 $5\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以下にする。その後、コンタクト層31にMgを約 $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ～約 $1\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ イオン注入した後、約 $800^{\circ}\text{C}$ でN<sub>2</sub>雰囲気中で

アニールすることにより、コンタクト層 31 を p 型化する。

#### 【0056】

この後、真空蒸着法などを用いて、コンタクト層 31 の上面上に、約 2 nm の膜厚を有する Ni 層、Pd 層および Pt 層などからなるオーミック電極層、約 200 nm の膜厚を有する ITO 膜などからなる酸化物透明電極層、約 1  $\mu$ m の膜厚を有する Al 層、Ag 層および Rh 層などからなる金属反射層、Pt 層および Ti 層などからなるバリア電極、および、Au 層および Au-Sn 層などからなるパッド電極から構成される p 側電極 32 を形成する。

#### 【0057】

さらに、p 側電極 32 の上面上に、表面および裏面に Al/Pt/Au からなる電極が形成され、p 型ダイヤモンド基板、n 型 SiC 基板、および、多結晶 AlN 基板などからなる約 200  $\mu$ m ~ 約 1 mm の厚さを有する支持基板 33 を上記電極を介して貼り合わせる。

#### 【0058】

次に、半導体基板 21 をウエットエッチングなどにより除去した後、研磨などにより、選択成長マスク 22 および n 型低温バッファ層 23 を除去することにより、n 型 GaN 層 24 の裏面を露出させる。

#### 【0059】

次に、図 3 に示したように、真空蒸着法などを用いて、露出された n 型 GaN 層 24 の裏面上に、約 50 nm の膜厚を有する Al 層からなる金属層 34 を形成する。その後、上記第 1 実施形態の p 型コンタクト層 11 の貫通孔 11a の形成プロセスと同様のプロセスを用いて、金属層 34 に、図 4 に示したような約 120 nm の直径を有するとともに、p 型クラッド層 29 中の発光波長  $\lambda$  にほぼ等しい約 190 nm の間隔 (D) で 4 回対称に配列している円形の貫通孔 34a を形成する。

#### 【0060】

次に、金属層 34 の貫通孔 34a の内部に充填するように、金属層 34 の裏面上に、ITO 膜などの酸化物透明導電膜からなる n 側電極 35 を形成する。さらに、n 側電極 35 の裏面上の周辺約 50  $\mu$ m の領域に、Au 層および Au-Sn

層などからなるパッド電極 36 を形成する。さらに、パッド電極 36 を介して、n 側電極 35 の裏面上に、n 型 SiC、n 型 AlN、および、p 型ダイヤモンドなどからなる平凹レンズ 50 を、平面側が n 型 GaN 基板 1 に向かうように融着する。このようにして、本発明の第 2 実施形態による発光ダイオード素子が形成される。

#### 【0061】

第 2 実施形態では、上記のように、金属層 34 の貫通孔 34a の間隔 D (図 4 参照) は、p 型クラッド層 29 中の発光波長  $\lambda$  にほぼ等しく、上記貫通孔 34a には n 側電極 35 を構成する酸化物透明導電膜が充填されている。これにより、金属層 34 は、面内方向に対して周期的に誘電率が変調された 2 次元フォトン結晶として機能させることができる。発光ダイオード素子の出射面である n 側電極 35 の裏面と平行な面上に、上記構造を有する金属層 34 を形成することにより、発光ダイオード素子からの発光は出射面に対して垂直な光に平行化されるとともに、光取り出し効率を高くすることができる。また、上記出射面上に平凹レンズ 50 を設けることによって、上記出射面に対して垂直な方向に平行化された出射光を、容易に、種々の方向に拡散することができる。その結果、光取り出し効率が高く、かつ、拡散光を出射することができる発光ダイオード素子を得ることができる。

#### 【0062】

##### (第 3 実施形態)

図 6 は、本発明の第 3 実施形態による発光ダイオード素子を用いた照明装置の構造を説明するための断面図である。まず、図 6 を参照して、本発明の第 3 実施形態による照明装置の構造について説明する。

#### 【0063】

第 3 実施形態による照明装置では、図 1 に示した第 1 実施形態の発光ダイオード素子から平凹レンズ 50 を除いた構造を有する発光ダイオード素子 41 を用いている。この発光ダイオード素子 41 は、出射面を上方に向けて、Cu などの高熱伝導性材料からなる発光素子パッケージ 42 の内側底面に、Au-Sn などの融着材でボンディングされている。また、発光ダイオード素子 41 の n 側電極 (

図示せず) および p 側電極 (図示せず) は、ワイヤーボンディングにより、発光素子パッケージ 42 の端子 43 と電氣的に接続されている。

#### 【0064】

発光素子パッケージ 42 の上部の開口面には、蛍光体 44 が配置されている。また、蛍光体 44 の上面上には、ガラス、石英、樹脂などからなる絶縁性の平凹レンズ 60 が配置されている。これにより、本発明の第 3 実施形態による照明装置が形成される。

#### 【0065】

第 3 実施形態では、上記のように、出射面と平凹レンズ 60 との間に蛍光体 44 を設置することによって、発光ダイオード素子 41 から出射面に対して垂直方向に平行化された出射光が散乱されるため、容易に、拡散光を得ることができる。また、平凹レンズ 60 によっても、出射光は拡散されるので、さらに、容易に、拡散光を得ることができる。また、発光ダイオード素子 41 は窒化物系半導体から構成されているので、発光ダイオード素子 41 からは青色～紫外の範囲の短波長で高エネルギーの発光が出射され、蛍光体 44 に照射される。これにより出射光の波長を効率よく、出射光と異なる波長に変換することができるので、種々の蛍光体を組み合わせれば、照明用途に適した白色の発光を得ることができる。

#### 【0066】

なお、今回開示された実施形態は、すべての点で例示であって、制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施形態の説明ではなく特許請求の範囲によって示され、さらに特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれる。

#### 【0067】

たとえば、上記第 1～第 3 実施形態では、平凹レンズを用いて出射光を拡散したが、本発明はこれに限らず、他の形状のレンズであってもよく、また、鏡や回折格子などの手段を用いてもよい。

#### 【0068】

#### 【発明の効果】

以上のように、本発明によれば、光取り出し効率が高く、かつ、拡散光を得る

ことが可能な発光素子および照明装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の第1実施形態による発光ダイオード素子の構造を説明するための断面図である。

【図2】

本発明の第1実施形態によるp型コンタクト層の平面構造を説明するための上面図である。

【図3】

本発明の第2実施形態による発光ダイオード素子の構造を説明するための断面図である。

【図4】

本発明の第2実施形態による金属層の平面構造を説明するための上面図である。

【図5】

図3に示した第2実施形態による発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図6】

本発明の第3実施形態による発光ダイオード素子を用いた照明装置の構造を説明するための断面図である。

【図7】

従来のフォトリソグラフィ結晶を出射面上に取り付けた発光ダイオード素子の構造を説明するための断面図である。

【符号の説明】

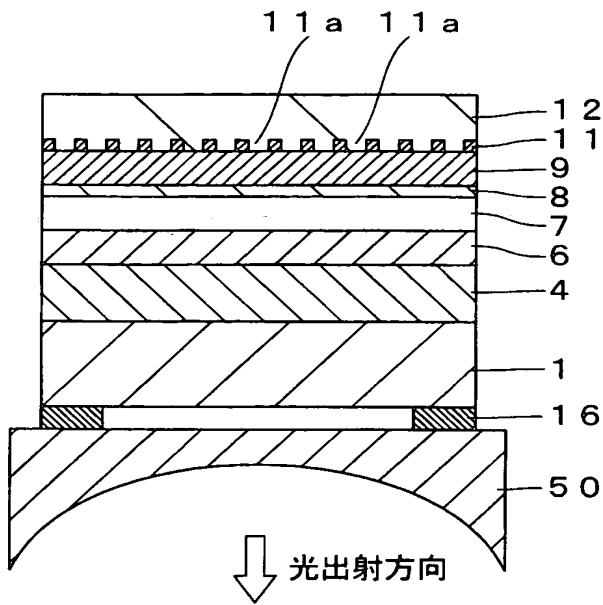
- |   |         |
|---|---------|
| 1 | n型GaN基板 |
| 4 | n型GaN層  |
| 6 | n型クラッド層 |
| 7 | 活性層     |
| 8 | 保護層     |



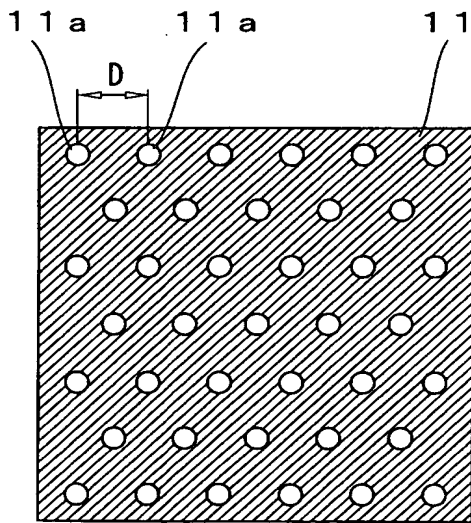
9	p 型クラッド層
1 1	p 型コンタクト層
1 1 a	貫通孔
1 2	p 側電極
1 6	n 側電極
3 4	金属層
3 4 a	貫通孔
4 1	発光ダイオード素子
5 0、6 0	平凹レンズ

【書類名】 図面

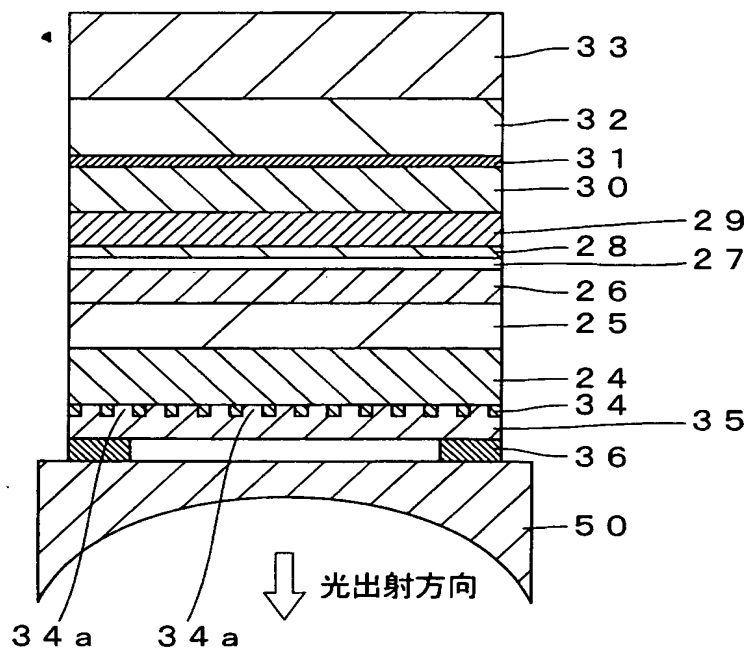
【図 1】



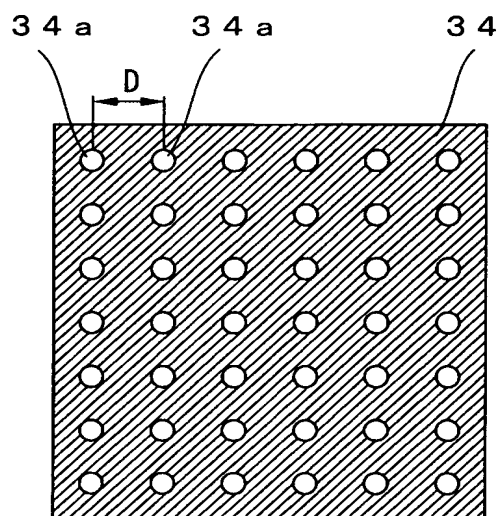
【図 2】



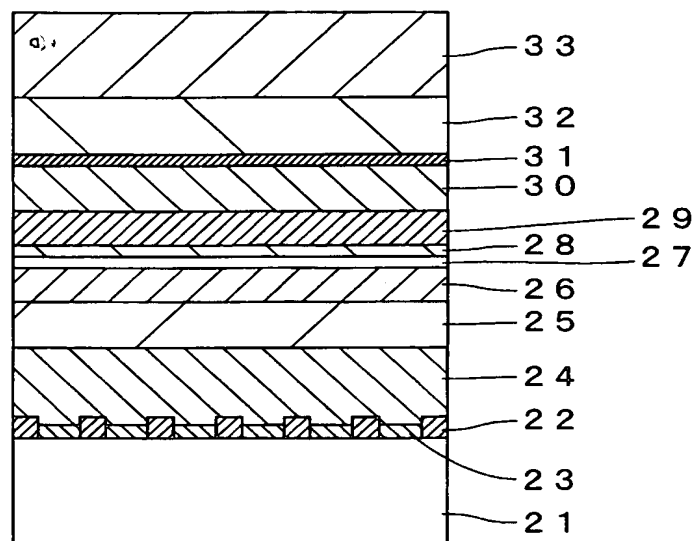
【図 3】



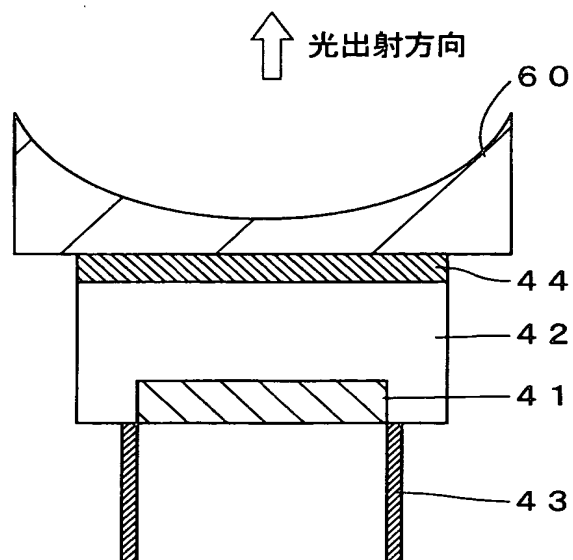
【図 4】



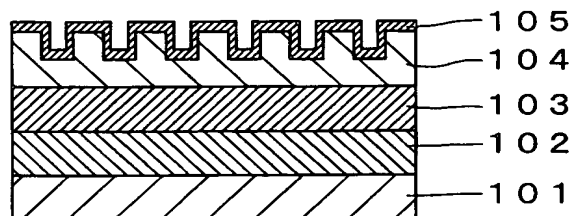
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光取り出し効率が高く、かつ、拡散光を得ることができる発光素子および照明装置を提供する。

【解決手段】 この発光素子では、n型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>基板1上に、n型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>層4、n型クラッド層6、多重量子井戸(MQW)発光層7、保護層8、および、p型クラッド層9が形成されている。p型クラッド層9上には、6回対称に配列している円形の貫通孔11aを有するp型コンタクト層11が形成されている。p型コンタクト層11の貫通孔11aの内部に充填するようにp型コンタクト層11の上面上には、p側電極12が形成されている。また、Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>基板1の裏面上のn側電極16を介して平凹レンズ50が、平面側がn型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>基板1に向かうように融着されている。

【選択図】 図1

特願 2 0 0 3 - 0 8 8 4 8 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 1 8 8 9 ]

1. 変更年月日

1 9 9 3 年 1 0 月 2 0 日

[変更理由]

住所変更

住 所

大阪府守口市京阪本通 2 丁目 5 番 5 号

氏 名

三洋電機株式会社